

<特集>

シャフト炉式ガス化溶融炉の燃焼・溶融制御について

Control of Combustibility and Melting Behavior in Direct Melting System

長田守弘*

新日本製鐵(株)環境ソリューション事業センター部長

Morihiro Osada*

General Manager, Environmental Solution Business Center, Nippon Steel Corporation

Abstract

Direct Melting System (DMS) is shaft furnace type gasification and melting technology for MSW treatment. In this system combustible wastes are gasified and burnt completely in combustion chamber and, after that, a heat recovery system effectively utilizes the energy. Meanwhile, incombustible wastes are melted in a coke-bed of melting furnace at high temperature, allowing all slag and metal byproducts to be taken and effectively utilized as resources. With the dust collector installed between the melting furnace and the combustion chamber in this system, dust in the pyrolysis gas was collected to reduce the solid combustion load of the combustion chamber. This alteration allowed combustion performance improved and contributed in reduction of CO and dioxin level. High temperature reducing atmosphere in the melting furnace acts to facilitate the volatilization of low-boiling point heavy metals contained in the waste and to suppress the entry of heavy metals into the slag, whereas these heavy metals were concentrated in the fly ash.

And recent commercial plant using DMS recovers high temperature and high pressure steam by the waste heat boiler to efficiently generate electric power.

Key Words : waste, gasification, melting, heavy metal, slag

1. はじめに

新日鉄の直接溶融・資源化システムは、シャフト炉式のガス化溶融炉に分類され、資源循環型社会構築に貢献する“完全リサイクル”技術として注目されている。

ガス化溶融炉の機能模式図を Fig. 1 に示す。ガス化溶融炉には、主に「ガス化」と「燃焼」と「溶融」の3つの機能があり、ガス化と溶融を同一の炉（ガス化+溶融炉）で行い、燃焼だけを独立した別の炉（燃焼炉）で行う方式 a) と、燃焼と溶融を同一の炉（燃焼+溶融炉）で行い、ガス化だけを独立した別の炉（ガス化炉）で行う方式 b) がある。

シャフト炉式が採用している方式 a) において燃焼と溶融を別々にしている理由は、900°C の完全燃焼でダイオキシンの発生を抑制することと、1,700 ~ 1,800°C の高

温還元雰囲気下での高温溶融によりで高品質な溶融スラグを生成することを両立させるためである。高温還元溶融により、重金属を揮発させて溶融飛灰側へ移行濃縮さ

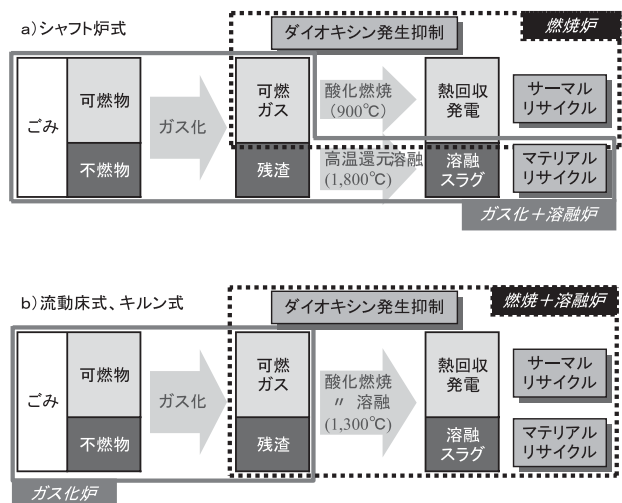


Fig. 1 ガス化溶融炉の機能模式図

* 〒100-8071 東京都千代田区大手町2-6-3
TEL: 03-3275-6079 FAX: 03-3275-5983
E-mail: osada.morihiro@eng.nsc.co.jp

せるとともに重金属フリーな熔融スラグを作り込むことで、熔融スラグも熔融飛灰も同時にリサイクルしやすい品質に仕上がっている。

その意味で燃焼と熔融を独立して制御可能としたことが、完全リサイクル実現の鍵になっている。

ガス化熔融炉の制御については、熔融、燃焼、燃焼ガス冷却、排ガス処理、余熱利用の各プロセスに対して、長年の実績に基づいて設計した安定性の高い分散型制御システムを構築している。特に、熔融と燃焼に関わる制御については、(1) 安定的な熔融処理と可燃ガスの発生、(2) 高品質な熔融物の生成、(3) 熔融飛灰への重金属の分配濃縮、(4) ダイオキシンをはじめとした有害物を発生させない燃焼処理、等を実現するための工夫が凝らされている。

本論文では、新日鉄の直接熔融・資源化システムの概要と 20t/日試験設備によるダイオキシンの発生抑制およびコークス使用量と熔融飛灰発生量の低減、重金属の分配濃縮に関わる運転制御の考え方について紹介する。

2. システム概要¹⁾

Fig. 2 に直接熔融・資源化システムの全体フローを示す。

熔融炉本体は縦型シャフト炉であり、熔融炉の中央上部から処理対象物（ごみ）、コークス、石灰石を装入する。炉内は Fig. 3 に示すように、上部から乾燥・予熱帯（約 300～400℃）、熱分解ガス化帯（300～1,000℃）、燃焼帯（1,000～1,700℃）、熔融帯（1,700～1,800℃）に

区分される。

乾燥・予熱帯では、ごみが熱せられて水分が蒸発する。乾燥したごみは次第に降下し、熱分解ガス化帯でごみ中の可燃物が部分的にガス化される。ガス化されずに残ったごみ中の炭素は、燃焼帯で上段羽口から供給される空気により燃焼し、乾燥・予熱および熱分解の熱源となるほか、キャリアオーバー成分と混合されて可燃ダストを生成する。熱分解ガスは、熔融炉上部から後段の燃焼室へ送られ完全燃焼される。また、熱分解ガス中の可燃ダストは、燃焼室の上流側に設置した除塵器（サイクロン）により分離・捕集され、熔融炉の下段羽口からコークスベッド層へ吹き込まれる。燃焼排ガスは、廃熱回収ボイラ等の熱回収システムによりエネルギーの有効利用が図られる。

一方、ごみ中の灰分は、コークスと共に熔融帯まで降下する。コークスは、下段羽口から供給される酸素富化空気により 1,700～1,800℃ で高温燃焼し、灰分を完全に熔融する。熔融物は、石灰石の塩基度調整作用で、十分に流動性を高めて出湯口より排出され、すぐに水槽に投入して急冷する。固化した粒状の熔融スラグとメタルは、磁選機で分離され、各々が再生資源として有効利用される。

3. ダイオキシン発生抑制に関わる運転制御

3.1 更なる燃焼性向上への取り組み

ダイオキシンの発生抑制については、単に法規制を遵守するにとどまらず、常に設備および操業改善等を重ねて低減に努めてきた。今回の取り組みでは更なる燃焼性向

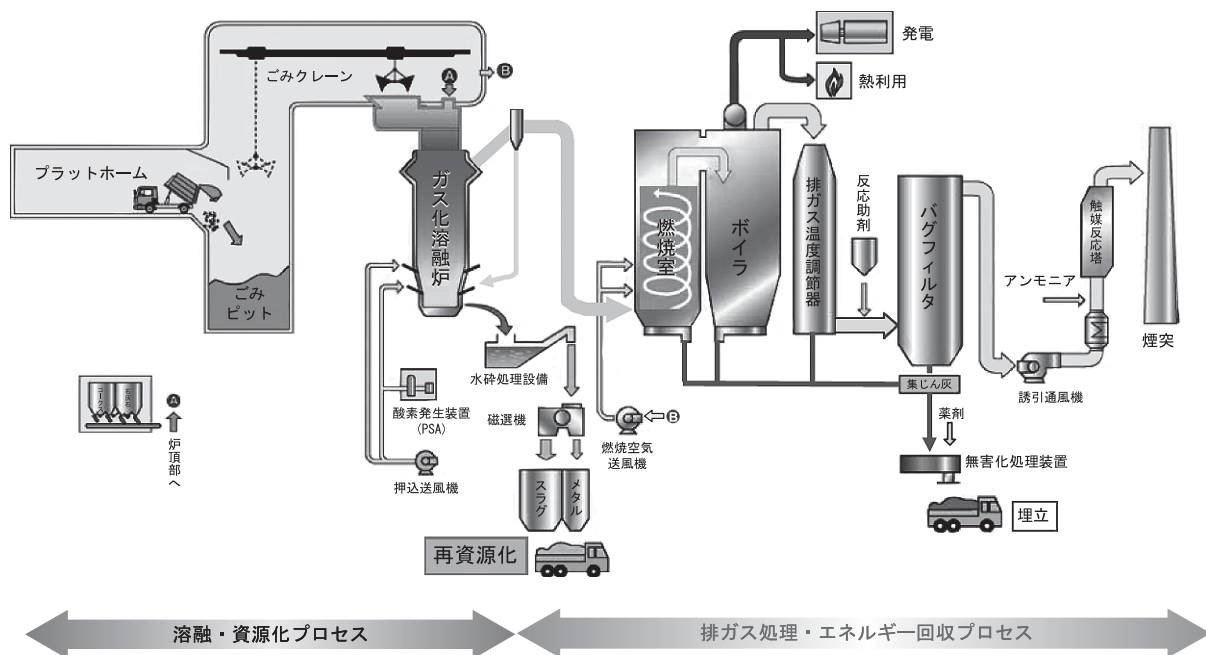


Fig. 2 直接熔融・資源化システムの全体フロー

ごみ直接溶融・資源化システムの概念図

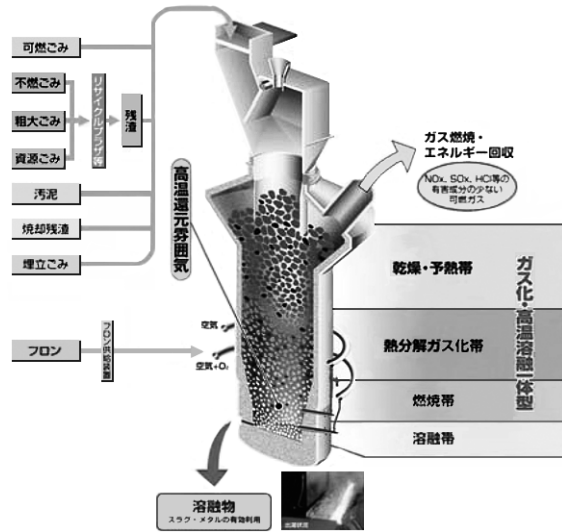


Fig. 3 ガス化溶融炉本体断面図

上を図り、ダイオキシンの発生抑制性能を一段上のレベルへ引き上げることで、より安全安心な施設を目指すこととした。

ダイオキシンの低減を図るには、燃焼室での安定的な完全燃焼が求められる。従来、燃焼室では熱分解ガスと共に随伴される可燃ダストも燃やしていたが、更なる燃焼性向上を目指して、燃焼室の上流側に設置した除塵器(サイクロン)により熱分解ガス中から可燃ダストを分離・捕集した。その結果、発熱量約 12 MJ/kg、平均粒径約 50 μm の可燃ダストが除かれることにより、燃焼室の固体燃焼負荷が低減され、燃焼性向上が図られることが期待された。

3.2 実証試験結果²⁾

可燃ダストの捕集有無による燃焼性向上効果を Fig. 4, Fig. 5 に示す。Fig. 4 は燃焼室出口、温度調節器出口、触媒反応塔出口(煙突)の3箇所における排ガス中ダイオキシン濃度の同時測定結果(各 n=3)である。可燃ダスト捕集無し時の平均値は、燃焼室出口で 0.27 ng-TEQ/Nm³、温度調節器出口で 0.66 ng-TEQ/Nm³ に一旦上昇した後、触媒反応塔出口で 0.07 ng-TEQ/Nm³ に低下している。一方、可燃ダスト捕集有り時の平均値は、燃焼室出口において 0.05 ng-TEQ/Nm³ (低減率 80%) まで低下した。温度調節器出口で 0.42 ng-TEQ/Nm³ まで一旦上昇するものの、触媒反応塔出口では約 0.02 ng-TEQ/Nm³ (低減率 70%) まで低下している。

Fig. 5 に燃焼室出口排ガス中ダイオキシン濃度と煙突 CO 濃度との関係を示す。燃焼室出口ダイオキシン濃度が低いと煙突 CO 濃度も低下する傾向がみられる。可燃ダスト捕集無し時では CO 濃度が 10 ~ 30 ppm の範囲で

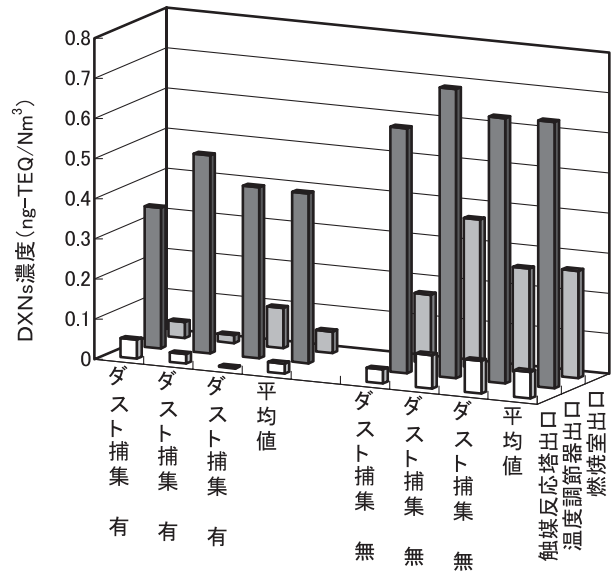


Fig. 4 可燃ダスト捕集による排ガス中 DXNs 濃度低減効果

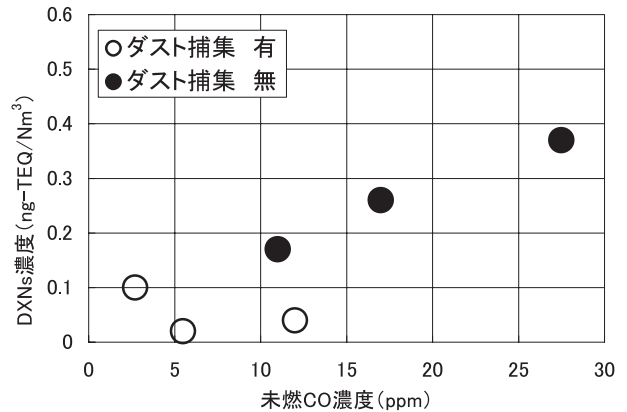


Fig. 5 燃焼室出口排ガス中 DXNs 濃度と煙突未燃 CO 濃度の関係

推移し、平均 19 ppm 程度であった。一方、可燃ダスト捕集有り時では、CO 濃度が 0 ~ 15 ppm の範囲で推移し、平均 7 ppm 程度(低減率 60%)に低下している。

以上の結果から、熱分解ガス中から可燃ダストを分離・捕集したことにより燃焼性が改善され、排ガス中ダイオキシン濃度および煙突 CO 濃度が低下したことが確認された。

4. コークス使用量と溶融飛灰発生量の低減に関わる運転制御

4.1 可燃ダスト羽口吹き込みへの取り組み

前項で述べた、燃焼室の上流側に設置した除塵器(サイクロン)により熱分解ガス中から分離・捕集した可燃ダストは、冷却・篩い処理した後、溶融炉の下端羽口から 1,700 ~ 1,800°C のコークスベッド層へ吹き込まれ、可

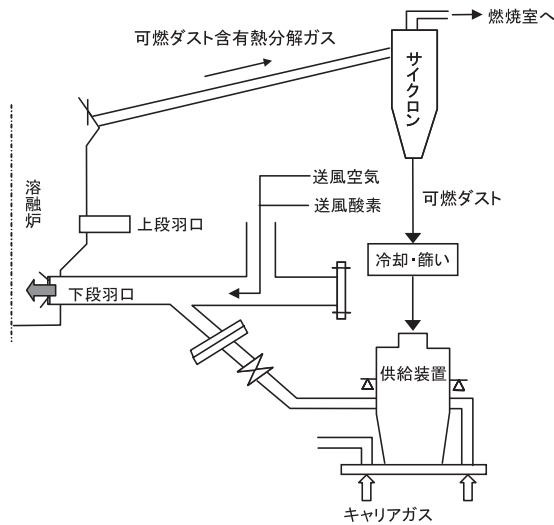


Fig. 6 可燃ダスト捕集・羽口吹き込み装置

燃分は高温燃焼され、灰分は溶融スラグ化された (Fig. 6)。

この可燃ダスト羽口吹き込み技術の導入により、ごみ中の灰分が溶融スラグ化する比率 (スラグ化率) が上昇して溶融飛灰中へのキャリーオーバー成分が低減され、結果的に溶融飛灰発生量の低減と重金属濃縮が期待された。また、可燃ダスト中の可燃分がコークスの代替機能を果たしコークス使用量の低減も期待された。

4.2 実証試験結果³⁾

コークス使用量と溶融物温度の関係を Fig. 7 に示す。高品質な溶融スラグを生成しながら安定操業を維持するためには、少なくとも 1,450°C 望ましくは 1,500°C 以上の溶融物温度が求められるが、可燃ダスト羽口吹き込みを行わない場合、コークス使用量の低減により溶融物温度が低下する傾向が見られる。しかし、可燃ダスト羽口吹き込みにより、コークス使用量 (wt% : コークス使用量 ÷ ごみ処理量) 3% においても、溶融物温度は 1,500°C 以上を維持することができ、溶融物排出状況も良好であった。これは可燃ダスト羽口吹き込みによる溶融炉下部でのコークス消費抑制・代替効果と考えられる。

また、Fig. 8 に示すように、可燃ダスト羽口吹き込みを行わない場合、コークス使用量を低減するとスラグ中鉛濃度が上昇する傾向が見られる。これはコークス低減に伴う溶融炉下部における温度低下、還元雰囲気変化等により鉛の溶融スラグ中への移行が促進されたためである。一方、可燃ダスト羽口吹き込み時は、コークス使用量 3% においても、溶融スラグ中鉛濃度は低位に維持されており、このことから可燃ダスト羽口吹き込みには、コークスの有する還元能力の代替効果があると推察される。

さらに、可燃ダストに含まれる灰分は溶融スラグ化され、スラグ化率が上昇することから、Fig. 9 に示すよう

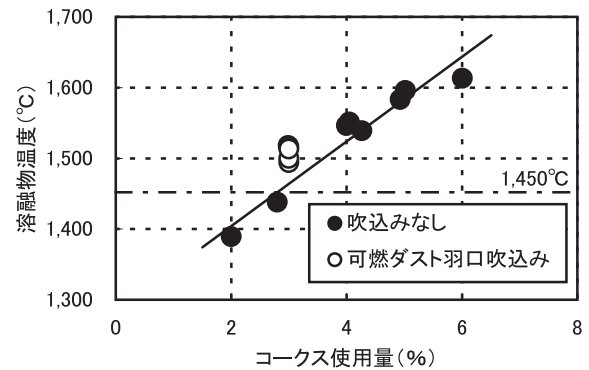


Fig. 7 コークス使用量と溶融物温度の関係

に溶融飛灰の発生量も 60% 程度に低減している。

5. 重金属の分配濃縮に関わる運転制御

5.1 溶融飛灰リサイクルへの取り組み

新日鉄の直接溶融・資源化システムは、溶融処理によって生成される溶融物、溶融飛灰の完全リサイクルの実現により最終処分量ゼロを目指して開発してきた。当初から溶融炉で生成する高品質な溶融スラグとメタルは、インターロッキングブロック骨材や非鉄精錬原料としてリサイクルされており、溶融飛灰のリサイクルだけが課題として残っていた。溶融飛灰は重金属等を多く含むとして、キレート剤等により無害化処理後、最終処分されていたが、最近では、非鉄精錬メーカー中心に溶融飛灰をリサイクル原料として採用されるケースが増加している。

今回、ごみ中に含まれる代表的な重金属として鉛、亜鉛に着目し、溶融飛灰をリサイクル (山元還元) する上で重要なこれらの分配濃縮について調査した。

5.2 実証試験結果²⁾

溶融炉下部のコークスベッド層は最高温度 1,800°C にも達する高温還元雰囲気のため、ごみ中に含まれる低沸点重金属は揮発して熱分解ガスと共に後段の燃焼室へ送られる⁴⁾。溶融スラグとメタル、溶融飛灰中の鉛、亜鉛

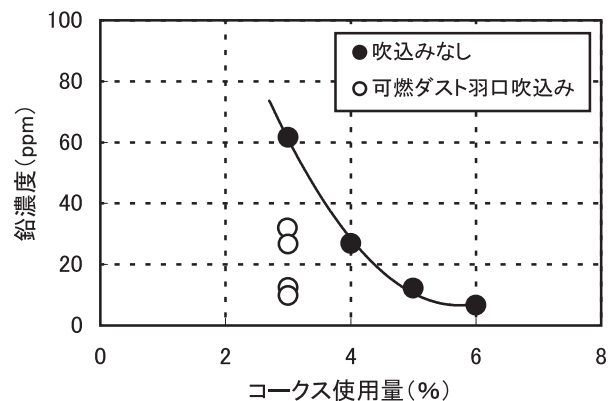


Fig. 8 コークス使用量と溶融スラグ中鉛濃度の関係

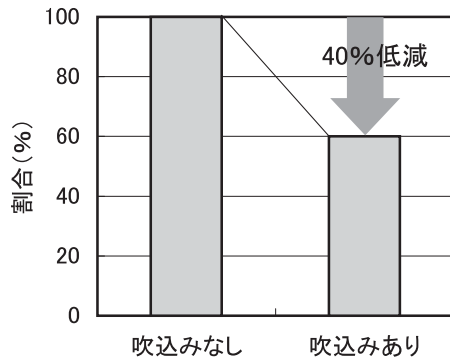


Fig. 9 可燃ダスト吹き込みによる熔融飛灰発生量の低減効果

の濃度と各々の発生量から算出した総排出量は、鉛が0.128 kg/t-ごみ、亜鉛が0.555 kg/t-ごみであった。そのうち、熔融飛灰へ分配された鉛が0.125 kg/t-ごみ、亜鉛が0.525 kg/t-ごみであることから、熔融飛灰への分配率は、鉛が約98%、亜鉛が約95%と非常に高く、熔融スラグ中に移行する鉛、亜鉛は極めて少ないことが分かる (Fig. 10)。

Table 1 に熔融スラグ中の鉛含有量および環境省告示第46号による溶出試験結果を示す。含有量は10 mg/kg以下の極低濃度の範囲に抑えられている。また、鉛の溶出量は0.001 mg/l以下であり基準値を十分満足している。

6. おわりに

本論文では、20t/日試験設備の実証試験結果からダイオキシンの発生抑制およびコークス使用量と熔融飛灰発生量の低減、重金属の分配濃縮について以下の知見を得た。

- (1) 熱分解ガス中から可燃ダストを分離・捕集することにより、燃焼室出口および触媒反応塔出口の排ガス中ダイオキシン濃度がそれぞれ80%、70%低減された。
- (2) 煙突での未燃CO濃度が60%低減された。
- (3) 可燃ダスト羽口吹き込みにより、コークス使用量を3%程度に低減できた。
- (4) 熔融飛灰の発生量も40%低減された。
- (5) 熔融飛灰への重金属分配率は、鉛が約98%、亜鉛が約95%と非常に高く、熔融スラグ中に移行する鉛、亜鉛は極めて少ない。

熱分解ガス中から可燃ダストを分離・捕集し、羽口から吹き込む技術は、秋田市(200t/日×2炉)をはじめ、北九州市(240t/日×3炉)、名古屋市(265t/日×2炉)でも採用され、茨木市(150t/日)での実証を含め、すでに12施設で導入済みである。

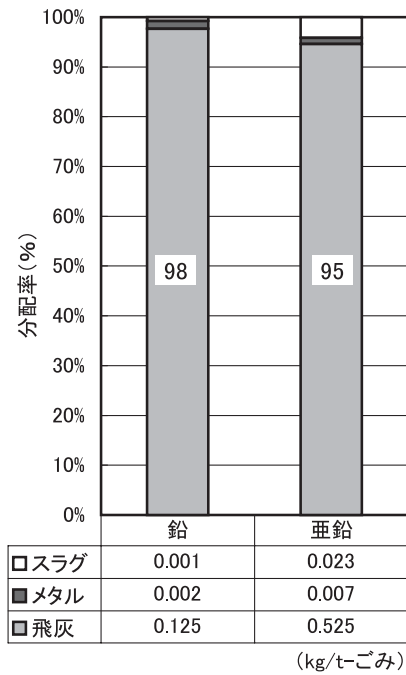


Fig. 10 鉛と亜鉛の発生原単位及び分配率

Table 1 熔融スラグ中鉛含有量及び溶出量

試料 No	含有量 *1 mg/kg	溶出量 *2 mg/l
①	6.4	0.001
②	9.4	0.001
③	4	< 0.001
④	5.4	< 0.001
⑤	5.9	< 0.001
⑥	6.9	< 0.001
基準値	—	0.01

*1 底質調査方法 (環水管第127号)

*2 土壌環境基準 (環境庁告示第46号)

[参考文献]

- 1) 瀬戸俊之：新日本製鉄におけるシャフト炉式ガス化熔融炉「直接熔融・資源化システム」の開発，千葉県工業歴史資料調査報告書第12号，(2003)
- 2) M.Osada, K.Takamiya and S.Sakai: Bromine Behavior and Metal Control in MSW Direct Melting System, 3rd i-CIPEC, pp. 343-348, (2004)
- 3) 上野, 小阪, 西田, 芝池, 加藤, 高宮, 田中：直接熔融炉における可燃ダスト羽口吹き込み技術の開発，第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 813-815, (2001)
- 4) 長田昭一, 長田守弘, 古角雅行, 徳田昌則：熔融処理過程における低沸点重金属類の挙動に関する熱力学的考察，廃棄物学会論文誌，Vol. 15, No. 5, pp. 353-362, (2004)